

Schaltungsanordnung und Verfahren zur Erzeugung eines Steuerungssignals für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung von Kraftstoffinjektoren

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zur Erzeugung eines Steuerungssignals für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung wenigstens eines Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine.

Insbesondere die in letzter Zeit strenger gewordenen Abgasnormen für Motoren haben in der Kraftfahrzeugindustrie die Entwicklung von Kraftstoffinjektoren mit schnell und verzögerungsfrei ansprechenden Stellgliedern bzw. Aktoren ausgelöst. Bei der praktischen Realisierung derartiger Stellglieder haben sich insbesondere piezoelektrische Elemente als vorteilhaft erwiesen. Derartige Piezoelemente sind üblicherweise als ein Stapel von Piezokeramikscheiben zusammengesetzt, die über eine elektrische Parallelschaltung betrieben werden, um die für einen ausreichenden Hub notwendigen elektrischen Feldstärken erreichen zu können.

Die Verwendung von piezoelektrischer Keramik zur Betätigung von Kraftstoffeinspritzventilen einer Brennkraftmaschine stellt erhebliche Anforderungen an die Elektronik zum Aufladen und Entladen der Piezokeramik. Es müssen dabei vergleichsweise große Spannungen (typisch 100V oder mehr) und kurzzeitig vergleichsweise große Ströme zur Ladung und Entladung (typisch mehr als 10A) bereitgestellt werden. Zur Optimierung der Motoreigenschaften (z.B. Abgaswerte, Leistung, Verbrauch etc.) sollten diese Lade- und Entladevorgänge in

Bruchteilen von Millisekunden mit gleichzeitig weitgehender Kontrolle über Strom und Spannung erfolgen.

Bei den bisher eingesetzten Motorsteuereinheiten umfassend  
5 eine Endstufe zum Betreiben eines oder mehrerer Piezo-Kraftstoffinjektoren sind die Lade- und Entladestromformen mehr oder weniger durch das jeweilige Funktionsprinzip der Schaltung vorgegeben bzw. nur in relativ engen Grenzen veränderbar.

10

So ist beispielsweise aus der DE 199 44 733 A1 eine Endstufe zum Ansteuern von Piezo-Kraftstoffinjektoren bekannt. Diese bekannte Endstufe basiert auf einem bidirektional betriebenen Sperrwandler und ermöglicht eine Zumessung von Energieportionen beim Laden und Entladen der piezoelektrischen Keramik der Kraftstoffinjektoren, so dass prinzipiell die Lade- und Entladestromformen als gemittelte Stromverläufe angepasst realisiert werden können. Die gewünschten Stromverläufe beim Laden und Entladen der Piezoelemente werden hierbei mittels einer  
15 in dieser Veröffentlichung nicht detailliert beschriebenen Steuerschaltung definiert, welche zu diesem Zweck die tatsächlich fließenden Lade- und Entladeströme (anhand von Spannungsabfällen an Strommesswiderständen) misst und basierend auf diesen Messgrößen die Auf- und Entladungen regelt. Zum  
20 Aufladen eines Piezoelements wird ein Ladeschalter mit vorgegebener Frequenz und vorgegebenem Tastverhältnis im Pulsbetrieb mit einer vorgegebenen Zahl von pulsweitenmodulierten Signalen angesteuert, wohingegen zum Entladen eines Piezoelements ein Entladeschalter pulsförmig leitend und nichtleitend  
25 gesteuert wird.  
30

Wenn eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung wenigstens eines Kraftstoffinjektors, wie sie in zahlreichen Ausführungen an

sich bekannt sind, die Kraftstoffinjektoren in geregelter Weise ansteuern soll, so wird für diese Regelung ein Steuersignal benötigt, welches den "Sollwert" eines gewünschten zeitlichen Verlaufs beim Ansteuern eines Injektors, z. B. Laden oder Entladen eines Piezoinjektors, repräsentiert. Insbesondere aufgrund der wie oben bereits erwähnt relativ rasch ablaufenden Ansteuervorgänge wurden für die bislang eingesetzten Motorsteuereinheiten sehr einfache Regelungen bzw. Sollwert-Steuersignale verwendet. Die sich dann ergebenden Ansteuerverläufe, z. B. Lade- und Entladestromformen bei Piezoinjektoren sind insofern nicht optimal.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Weg zur Erzeugung eines Steuersignals für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung wenigstens eines Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine anzugeben, mit welchem verbesserte Ansteuersignalverläufe bei der Injektoransteuerung realisiert werden können.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder ein Verfahren nach Anspruch 10. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Erzeugung eines Steuersignals für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung wenigstens eines Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine umfasst:

- eine mit einem vorgegebenen Taktsignal beaufschlagbare Zähleinrichtung zum Bereitstellen eines zeitabhängigen digitalen Zählsignals basierend auf einer Zählung des Taktsignals, basierend auf einer Zählung des

Taktsignals, wobei das Taktsignal mit abhängig von dem Modifikationssignal einstellbarer Frequenz vorgegeben wird,

5

- eine mit dem digitalen Zählsignal beaufschlagbare Speichereinrichtung zum Speichern einer Folge von digitalen Steuersignalwerten und zum aufeinanderfolgenden Ausgeben einzelner Steuersignalwerte aus der Steuersignalwertfolge in Abhängigkeit von dem Zählsignal, und

10

- eine Digital/Analogwandlereinrichtung zum Wandeln der ausgegebenen digitalen Steuersignalwerte in das analoge Steuersignal für die Motorsteuereinheit, wobei die Wandlung der digitalen Steuersignalwerte in das analoge Steuersignal unter Berücksichtigung des Modifikationssignals als Amplitudenskaliersignal vorgesehen ist.

15

20

Damit ist es möglich, in einfacher Weise ein dem jeweiligen Anwendungsfall angepasstes Steuersignal als Sollwertvorgabe bei der geregelten Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors mit praktisch beliebiger Ansteuerform (z. B. Lade- und Entladestromform) zu erzeugen. Wesentlich ist hierbei die Speicherung einer digitalen Steuersignalwertfolge, von welcher im Betrieb der Schaltungsanordnung aufeinanderfolgend einzelne Steuersignalwerte ausgegeben und in das analoge Steuersignal gewandelt werden. Es ist also insbesondere nicht wie bisher notwendig, hinsichtlich der Lade- und Entladestromformen bei Piezoinjektoren Kompromisse einzugehen. Vielmehr können diese

25

30

Formen den jeweiligen Erfordernissen optimal angepasst werden.

5 So ist es durch die freie Definierbarkeit der Verläufe von Lade- und Entladeströmen bei Piezoinjektoren und/oder der an solchen Piezoinjektoren anliegenden Spannungen möglich, sowohl den Anforderungen hinsichtlich einer variablen Hubhöhe der Piezoaktoren als auch der Einspritzzeitdauer bei gleichzeitiger Minimierung der akustischen Abstrahlung nachzukommen. Die Kraftstoffinjektoren bzw. deren Ansteuerung lässt sich hinsichtlich der gewünschten Ventilöffnungs- und Ventilschließgeschwindigkeiten, der beim Öffnen und Schließen bewegten Massen und der (in der Regel nicht-linearen) Charakteristik der Umsetzung eines Aktuatorhubs in die Ventilöffnung 10 bzw. Ventilschließung (z. B. hydraulische Umsetzung bei einem Piezo-Servoventil) optimieren. In Laborversuchen wurden z. B. ideale Auflade- und Entladestromkurven für Piezo-Servoventile ermittelt, die relative "sanft" und z. B. ähnlich der Funktion  $\sin^2$  verlaufen. Mit der erfindungsgemäßen Lösung lassen sich entsprechende Steuersignale zur Vorgabe von Sollwerten 15 bei der geregelten Injektoransteuerung in einfacher Weise erzeugen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass das 25 Taktsignal mit einstellbarer Frequenz vorgegeben wird. Damit kann für ein und dieselbe gespeicherte Steuersignalwertfolge der Verlauf des entsprechenden Steuersignals in der Zeit skaliert werden. So führt beispielsweise die Einstellung einer niedrigeren Frequenz dazu, dass die Steuersignalwerte mit 30 niedrigerer Taktfrequenz (langsamer) aus der Speichereinrichtung ausgelesen werden. Diese Frequenzeinstellung kann hierbei sowohl zur Anpassung des Steuersignalverlaufs an die Eigenschaften eines bestimmten von mehreren Injektoren als auch

zur Anpassung dieses Steuersignalverlaufs an momentane Betriebsbedingungen der betreffenden Brennkraftmaschine bzw. Einspritzanlage verwendet werden. Derartige Anpassungen können hierbei ohne Weiteres in Echtzeit erfolgen.

5

Für die Einstellung der Taktfrequenz gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Beispielsweise kann zur Bereitstellung des Taktsignals mit eingestellter Frequenz ein mit einem Zeitskaliersignal beaufschlagter spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) verwendet werden. In einer anderen Ausführungsform wird hier ein Oszillator mit fester Oszillationsfrequenz und ein dem Oszillator nachgeschalteter Teiler verwendet, dessen Teilungsverhältnis durch ein dem Teiler eingegebenes Zeitskaliersignal bestimmt wird.

15

Bevorzugt ist als die in der Speichereinrichtung gespeicherte Steuersignalwertfolge eine Folge von mindestens 30, insbesondere mindestens 50 Steuersignalwerten vorgesehen. Mit einer derartigen Anzahl ergibt sich eine in der Praxis für die meisten Fälle hinreichend genaue Definition des Steuersignalverlaufs.

Im Hinblick auf die in Laborversuchen ermittelten optimierten Ansteuerkurven für den Strom bzw. die Ladung bei Piezoinjektoren ist es vorteilhaft, wenn die in der Speichereinrichtung gespeicherte Steuersignalwertfolge eine stetige Funktion annähert. Für die Sollwertvorgabe des Lade- oder Entladestromverlaufs bei einem Piezoinjektor hat sich z. B. eine Folge als besonders vorteilhaft herausgestellt, welche eine stetige, insbesondere stetig differenzierbare "Glockenfunktion" annähert. In einer Ausführungsform ist die Folge zusammengesetzt aus einem monoton steigenden und einem monoton fallenden

den Folgenabschnitt, welche zusammen die Glockenkurve annähern.

5 Hinsichtlich der Genauigkeit der Definition des Steuersignalverlaufs ist es in den meisten Anwendungsfällen günstig, wenn die digitalen Steuersignalwerte mit einer Auflösung von mindestens 8 bit vorgesehen sind.

10 Wenngleich es denkbar ist, dass die gespeicherte Steuersignalwertfolge verändert werden kann, z. B. durch Verwendung eines Schreib-Lese-Speichers und betriebsmäßiges Aktualisieren der gespeicherten Daten, so vereinfacht sich der Aufbau bzw. Betrieb der Schaltungsanordnung erheblich, wenn eine oder auch mehrere auswählbare Steuersignalwertfolgen durch die  
15 gespeicherten Daten fest vorgegeben werden. In einer Ausführungsform ist daher vorgesehen, dass die Speichereinrichtung als ein Nur-Lese-Speicher ausgebildet ist.

20 Auch basierend auf einer im Betrieb fest vorgegebenen Steuersignalwertfolge ist es möglich, den Steuersignalverlauf variabel bzw. angepasst vorzusehen. Eine Möglichkeit hierzu ist die oben bereits erwähnte Einstellung der Frequenz des Taktsignals, welche eine zeitliche Skalierung des Steuersignalverlaufs bewirkt.

25 Alternativ oder zusätzlich ist es zur Modifikation des Steuersignalverlaufs beispielsweise möglich, die Wandlung der digitalen Steuersignalwerte in das analoge Steuersignal unter Berücksichtigung eines Amplitudenskaliersignalwerts vorzusehen.  
30 Ein solcher Amplitudenskaliersignalwert kann beispielsweise an einem Referenzeingang eines Digital/Analogwandlers eingegeben werden, der zu diesem Zweck vorgesehen ist, so dass das Ausgangssignal des Wandlers in dessen Amplitude ent-

sprechend dem eingegebenen Amplitudenskaliersignalwert skaliert wird.

5 In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein zur Einstellung der Taktsignalfrequenz vorgesehenes Zeitskaliersignal und ein zur Einstellung der Amplitude des Steuersignals vorgesehenes Amplitudenskaliersignal identisch sind oder voneinander bzw. von einem gemeinsamen Skaliersignal abgeleitet sind. Damit ist es beispielsweise in besonders einfacher Weise möglich, unterschiedliche Ladungsendwerte (entsprechend unterschiedlichen Hüben eines Piezoinjektors) bei mitskalierter Auf- oder Entladezeit bereitzustellen.

15 Schließlich kann der Steuersignalverlauf auch z. B. dadurch modifiziert werden, dass die Zähleinrichtung oder eine der Zähleinrichtung nachgeschaltete digitale Umsetzeinrichtung derart vorgesehen ist, dass für diese Modifizierung eine Umcodierung des Zählsignals vor dessen Verwendung als Adresssignal stattfindet.

20 Die Anpassung des Steuersignalverlaufs kann beispielsweise hinsichtlich fertigungstechnisch bedingter Toleranzen der angesteuerten Kraftstoffinjektoren vorgesehen sein. So kann es etwa sein, dass in verschiedenen Kraftstoffinjektoren eingebaute Piezoelemente verschiedene Ladungsendwerte beim Injektoröffnungsvorgang benötigen, um das Injektorventil zum Anschlag (Vollöffnung) zu bringen. Derartige Toleranzen lassen sich z. B. durch Vorsehen eines entsprechend angepassten Skaliersignals ausgleichen. Für eine solche Anpassung an die  
25 Charakteristik eines Kraftstoffinjektors bzw. des darin verwendeten Stellglieds lassen sich vorteilhaft z. B. oftmals ohnehin verfügbare Sensorsignale nutzen, die von so genannten Positions- oder Anschlagsensoren der Injektoranordnung gelie-



fert werden. Derartige Sensoren zur Echtzeit-Erfassung der Charakteristik und/oder des tatsächlichen Bewegungsverlaufs in Kraftstoffinjektoren sind hinreichend bekannt und bedürfen daher keiner detaillierten Erläuterung.

5

Ferner können z. B. folgende Betriebsparameter der betreffenden Brennkraftmaschine bzw. Einspritzanlage ausgewertet und zur Anpassung des Steuersignalverlaufs herangezogen werden: Pumpenvordruck (z. B. Raildruck), Temperatur (insbesondere

10 Temperatur des Injektors und/oder des Kraftstoffs), Drehzahl und Last der Brennkraftmaschine etc.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen dar:

15

Fig. 1 eine Darstellung zum Vergleich von zwei Kurvenformen des Ansteuersignals (Spannung) für einen Piezoinjektor,

20

Fig. 2 eine Darstellung zum Vergleich von zwei weiteren Kurvenformen des Ansteuersignals für einen Piezoinjektor,

25 Fig. 3 eine Darstellung zum Vergleich von zwei weiteren Kurvenformen des Ansteuersignals für einen Piezoinjektor,

Fig. 4 ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Erzeugung verschiedener Steuersignal-Kurvenformen für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung eines oder mehrerer Kraftstoffinjektoren,

30

- Fig. 5 ein Blockschaltdiagramm einer Schaltungsanordnung zur Erzeugung verschiedener Steuersignal-Kurvenformen für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung eines oder mehrerer Kraftstoffinjektoren gemäß einer weiteren Ausführungsform,
- Fig. 6 ein Blockschaltdiagramm einer Schaltungsanordnung zur Erzeugung verschiedener Steuersignal-Kurvenformen für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung eines oder mehrerer Kraftstoffinjektoren gemäß einer weiteren Ausführungsform, und
- Fig. 7 ein Blockschaltdiagramm eines Motorsteuergeräts, in welchem eine Schaltungsanordnung nach Fig. 4 verwendet ist, zur Ansteuerung von Piezo-Kraftstoffinjektoren.

Bei den in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Kurvenformen handelt es sich um Ansteuerspannungen, wie sie von einem Motorsteuergerät eines Kraftfahrzeugs zum Öffnen eines mittels eines Piezoelements betätigten Kraftstoffeinspritzventils an das Piezoelement angelegt werden.

Aufgrund der vorgegebenen elektrischen Kapazität des Piezoelements entsprechen die dargestellten Kurvenformen auch dem Verlauf der in das Piezoelement eingespeicherten Ladungsmenge.

Fig. 1 zeigt zwei Spannungsverläufe bzw. Kurvenformen  $U_1$ ,  $U_2$  der Piezospannung  $U_p$  im Verlauf der Zeit  $t$ . Die beiden Kurvenformen  $U_1$  und  $U_2$  besitzen unterschiedliche Piezospannungs-Endwerte  $U_{end1}$  und  $U_{end2}$ , wobei im dargestellten Beispiel die Endspannung  $U_{end2}$  des Piezospannungsverlaufs  $U_2$  die Hälfte

des Spannungsendwerts  $U_{\text{end1}}$  des Piezospannungsverlaufs  $U_1$  beträgt.

Die beiden Piezospannungsverläufe  $U_1$ ,  $U_2$  besitzen qualitativ denselben Verlauf, der sich nämlich für einen Piezoladestromverlauf mit genau einem Maximum ähnlich der Funktion  $\sin^2$  ergibt, wobei die Verläufe  $U_1$ ,  $U_2$  im Zeitbereich mit dem am Ende erreichten Spannungsendwert mitskaliert sind. Im dargestellten Beispiel bedeutet dies, dass die mit  $t_3'$  bezeichnete Aufladezeitdauer des Verlaufs  $U_2$  die Hälfte der Aufladezeitdauer  $t_3$  des Verlaufs  $U_1$  beträgt. Dementsprechend betragen die in der Figur ebenfalls eingezeichneten Zeiten  $t_1'$  und  $t_2'$ , zu welchen die Piezospannung  $U_p$  des Verlaufs  $U_2$  20% bzw. 75% des Spannungsendwerts  $U_{\text{end2}}$  erreichen, ebenfalls die Hälfte der entsprechenden Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  des Verlaufs  $U_1$ . Aus dieser gleichzeitigen Skalierung des Spannungs- bzw. Ladungsendwerts und der Aufladezeit resultiert ein für beide Verläufe  $U_1$  und  $U_2$  gleicher maximaler Ladestrom für das Piezoelement, was in der Figur durch eine gleiche maximale Steilheit der Verläufe  $U_1$  und  $U_2$  zum Ausdruck kommt.

Bei den Kurvenformen  $U_1$  und  $U_2$  handelt es sich gewissermaßen um optimierte Kurven eines qualitativ vorgegebenen Verlaufs, die aufgrund der Skalierbarkeit vorteilhaft zur Ansteuerung von Kraftstoffinjektoren unterschiedlicher Ansteuercharakteristik oder zur Ansteuerung von Kraftstoffinjektoren mit variablem Betätigungshub eingesetzt werden können.

Die Fig. 2 und 3 sind der Fig. 1 entsprechende Darstellungen für andere Spannungsverläufe  $U_1$  und  $U_2$ .

Fig. 2 zeigt im Unterschied zu Fig. 1 eine zusätzliche Skalierung (Verlängerung) im Zeitbereich für den Spannungsver-

lauf U2, wodurch der bei diesem Verlauf notwendige Ladestrom verringert wird und vorteilhaft eine Verschiebung des Akustikspektrums zu niedrigeren Frequenzen erreicht wird.

5 Fig. 3 zeigt eine weitere Möglichkeit der Formung zweier Spannungsverläufe U1 und U2 mit unterschiedlichen Spannungsendwerten. Hierbei verlaufen die Piezospansungen Up bis zum Zeitpunkt  $t_1=t_1'$  identisch und dann voneinander abweichend bis zum Erreichen der jeweiligen Spannungsendwerte Uend1,  
10 Uend2.

Schaltungsanordnungen zur Generierung einer Steuerspannung Us, die als "Sollwert" für Lade- und Entladeströme zur Realisierung der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Piezospansungsverläufe geeignet ist, werden nachfolgend mit Bezug auf die  
15 Fig. 4 bis 6 beschrieben.

Fig. 4 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete Schaltungsanordnung zur Erzeugung eines Steuersignals Us für eine Motorsteuereinheit zur Ansteuerung von Kraftstoffinjektoren, wobei das erzeugte Steuersignal Us zur Piezostrom-Sollwertvorgabe für die in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Piezospansungsverläufe U1, U2 im Rahmen einer geregelten Piezoansteuerung geeignet ist, wie es nachfolgend erläutert wird.  
20

25 Die Schaltungsanordnung 10 umfasst einen mit einem Taktsignal  $f_c$  beaufschlagten Zähler 12, welcher - getriggert durch ein nicht dargestelltes Startsignal einer Motorsterelekttronik das Taktsignal  $f_c$  (von 1 bis N) zählt und als Ergebnis dieser  
30 Zählung ein zeitabhängiges digitales Zählsignal X bereitstellt. Im einfachsten Fall repräsentiert das Signal X die Anzahl der bis zum aktuellen Zeitpunkt durchlaufenden Taktsignalperioden.

Dieses digitale Zählsignal X wird einem Speicher 14 als Adresseingangssignal eingegeben. In diesem Speicher 14 wurde vorab eine Folge Y von digitalen Steuersignalwerten Y1, Y2  
5 ... YN mit einer Auflösung von K bit gespeichert, die in Abhängigkeit von dem zur Adressierung eingegebenen Zählsignal X aufeinanderfolgend an einen Digital/Analogwandler 16 ausgegeben werden.

- 10 Der Digital/Analogwandler 16 wandelt die digitalen Steuersignalwerte Y1, Y2 ... in das analoge Steuersignal Us, welches in einer in dieser Figur nicht dargestellten Motorsteuereinheit als Sollwertvorgabe für den auszugebenden Piezostrom und folglich für die sich (als Integral des Stroms) ergebende La-  
15 dung (und proportional dazu die Piezospaltung Up) verwendet wird.

- Die in dem Speicher 14 gespeicherten Daten, in diesem Fall eine Liste oder Tabelle mit N Steuersignalwerten mit jeweils  
20 K bit Auflösung (hier: N=100, K=10), repräsentieren den gewünschten, vorab bestimmten und optimierten zeitlichen Sollwertverlauf für einen Injektoransteuerstrom zur Injektorventilöffnung. Für den Ventilschließvorgang kann derselbe Verlauf (invertiert) oder ein eigens hierfür in dem Speicher 14  
25 gespeicherter anderer Verlauf vorgesehen sein.

- Der konkrete Verlauf des Ausgangssignals Us wird hierbei noch durch zwei Parameter bestimmt. Zum einen ist dies die Frequenz eines fest vorgegebenen Taktsignals f0, welches von einem in Fig. 4 nicht dargestellten Taktgenerator erzeugt wird und über einen Teiler 18 als ein frequenzgeteiltes Taktsignal fc dem Zähler 12 eingegeben wird. Zum anderen ist dies ein  
30 (z. B. von einem Mikrocontroller ausgegebenes) digitales Ska-

liersignal S, welches einerseits unmittelbar dem Teiler 18  
eingegeben wird und dessen Teilungsverhältnis bestimmt und  
andererseits über einen Digital/Analogwandler 20 in analoger  
Form einem Referenzeingang Ref des Digital/Analogwandlers 16  
5 eingegeben wird. Das Skaliersignal S dient somit zum einen  
als ein Zeitskaliersignal, welches aufgrund des davon abhän-  
gigen Teilungsverhältnisses des Teilers 18 den Takt der Da-  
tenauslesung aus dem Speicher 14 und somit die Aufladezeit-  
spanne bestimmt, und zum anderen als Amplitudenskaliersignal,  
10 welches als multiplikativer Parameter bei der ausgangsseitigen  
Wandlung durch den Digital/Analogwandler 16 berücksichtigt  
wird.

Wenn die Schaltungsanordnung nach Fig. 4 mit einer fest vor-  
15 gegebenen Grundfrequenz  $f_0$ , jedoch variablem Skaliersignal S  
betrieben wird, so lassen sich die in Fig. 1 gezeigten Span-  
nungsverläufe U1 und U2 in einfacher Weise durch entsprechen-  
de Einstellung des Skaliersignals S (z. B. durch den erwähn-  
ten Mikrocontroller) realisieren. Der Übergang von dem Span-  
nungsverlauf U1 zu dem Spannungsverlauf U2 erfolgt beispiels-  
20 weise durch Halbierung des durch das Signal S dargestellten  
Skalierwerts.

Auch die in Fig. 2 dargestellte Variation des Spannungsver-  
25 laufs lässt sich mit der Schaltungsanordnung nach Fig. 4 in  
einfacher Weise realisieren. Im Gegensatz zu dem Betrieb mit  
fester Grundfrequenz  $f_0$  ist für einen Übergang von den Span-  
nungsverlauf U1 auf den Spannungsverlauf U2 in Fig. 2 hierzu  
lediglich eine zusätzliche Verkleinerung der Frequenz des dem  
30 Teiler 18 eingegebenen Signals  $f_0$  vorzusehen (um die beim  
Spannungsverlauf U2 zusätzliche Verlängerung bzw. Verlangsa-  
mung des Piezospannungsanstiegs zu erzielen). Alternativ oder  
zusätzlich könnte für die Kurvenskalierung nach Fig. 2 auch

(abweichend von der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform) das dem Teiler 18 zugeführte Zeitskaliersignal ungleich zu dem Amplitudenskaliersignal gewählt werden, welches dem Wandler 16 als Referenz eingegeben wird.

5

Schließlich kann auch die in Fig. 3 dargestellte Variation des Spannungsverlaufs mit der Schaltungsanordnung nach Fig. 4 realisiert werden, indem, abhängig vom gewünschten Spannungsverlauf, nicht die komplette gespeicherte Steuersignalwertfolge Y1, Y2 ... YN durchlaufen (ausgegeben) wird, sondern  
10 ein mittlerer Bereich aus dieser gespeicherten Folge (in Fig. 3 der Bereich zwischen t1 und t2) übersprungen wird.

Zu diesem Zweck kann der Zähler 12 derart steuerbar bzw. programmierbar gestaltet sein, dass die Steuerwertausgabe für  
15 einen Bereich von mittleren Adressen entsprechend einer vorgewählten Steuerwertamplitude unterdrückt wird. Letzteres z. B. indem der Zähler mit einer Steuerlogik kombiniert wird, welche für eine veränderbare Umcodierung des Signals X vor  
20 dessen Ausgabe an den Speicher sorgt.

Die Schaltungsanordnung 10 zur Realisierung einer oder mehrerer der mit Bezug auf die Fig. 1 bis 3 beschriebenen Ansteuermethoden (unter Zugrundelegung einer optimierten Steuerkurve)  
25 lässt sich problemlos in fester Logik, also insbesondere auch ohne einen Mikrocontroller umsetzen, so dass sich eine sehr hohe Ablaufgeschwindigkeit im Mikrosekundenbereich erzielen lässt. In dieser Hinsicht ist es vorteilhaft, wenn bei der Wahl der Werte N, K, S binäre Vielfache verwendet werden,  
30 die sich dann z. B. sehr rasch durch eine entsprechende bit-Verschiebeoperation einstellen lassen.

Alternativ lässt sich die Methode allerdings auch mit einem Mikrocontroller oder einem DSP ("Digital Signal Processor") realisieren, wenn die Echtzeitanforderungen nicht allzu hoch sind. In diesem Fall sind gegebenenfalls vorgesehene Regel-

5 kreisabschnitte, z. B. für die Piezoansteuerspannung (bzw. Piezoladung), einfacher zu realisieren und die Notwendigkeit für analoge Schaltkreise reduziert, was die Gesamtanordnung kostengünstiger macht.

10 Die Fig. 5 und 6 zeigen noch zwei Modifikationen der Schaltungsanordnung nach Fig. 4, wobei in diesen Figuren analoge Schaltungskomponenten mit den gleichen Bezugswerten bezeichnet sind, jedoch zur Unterscheidung der Ausführungsformen jeweils um 100 (Fig. 5) bzw. 200 (Fig. 6) erhöht.

15

Bei der Modifikation nach Fig. 5 ist ein analoges Skaliersignal S vorgesehen, welches in dieser Form unmittelbar dem Referenzeingang Ref des Digital/Analogwandlers 116 und über einen Analog/Digitalwandler 122 in digitaler Form dem Teiler

20

118 eingegeben wird.

Bei der in Fig. 6 gezeigten Modifikation wird zur Bereitstellung des Taktsignals fc ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) 224 verwendet, der mit dem Skaliersignal S zur Frequenzeinstellung beaufschlagt wird. Dieses Signal S wird ferner einem analogen Multiplizierglied 216-2 zugeführt, welches einem Digital/Analogwandler 216-1 nachgeschaltet ist und mit diesem zusammen die Digital/Analogwandlereinrichtung 216 bildet.

30

Fig. 7 veranschaulicht in einem schematischen Blockschaltbild die Verwendung der oben beschriebenen Schaltungsanordnung 10 für den Betrieb einer Endstufe 1 in einem Motorsteuergerät



ECU zur geregelten Aufladung und Entladung von Piezoelementen in Kraftstoffinjektoren.

Das Motorsteuergerät ECU umfasst die Schaltungsanordnung 10, 5 welcher einerseits von einem Oszillator 4 das Grundtaktsignal  $f_0$  und andererseits von einem Mikrocontroller 3 das Skaliersignal  $S$  eingegeben wird. In oben bereits beschriebener Weise erzeugt die Schaltungsanordnung 10 damit ein analoges Steuersignal  $U_s$ , welches einer Ansteuereinheit 2 des Motorsteuergeräts ECU als Sollwertvorgabe zugeführt wird. 10

Von der Ansteuereinheit 2 werden unter anderem vier Auswahl-signale  $select1$  bis  $select4$  erzeugt und der Endstufe 1 zugeführt. Mittels dieser Signale  $select1$  bis  $select4$  wird unmittel- 15 bar vor einer Kraftstoffeinspritzung zunächst einer von vier Kraftstoffinjektoren ausgewählt.

Dem Piezoelement des ausgewählten Kraftstoffinjektors wird nachfolgend die Piezoansteuerspannung (eine der Spannungen 20  $Up1$  bis  $Up4$ ) zugeführt. Dies wird initiiert durch Ausgabe eines PWM-modulierten Ladesignals  $up$  von der Ansteuereinheit 2 an die Endstufe 1. In der Endstufe 1 wird das Signal  $up$  z. B. dem Gate eines Leistungs-MOS-FET zugeführt, um diesen zur Aufladung des betreffenden Piezoelements getaktet einzuschalten. Die Ansteuerung der Entladung des Piezoelements erfolgt 25 in analoger Weise durch Erzeugung eines entsprechenden PWM-modulierten Entladesignals  $down$ , mittels welchem z. B. ein zur Entladung vorgesehener Leistungs-MOS-FET angesteuert wird.

30

Die PWM-Ansteuerung, insbesondere das Tastverhältnis der Lade- und Entladesignale  $up$  und  $down$  basiert hierbei auf einer Regelung, mittels welcher eine tatsächliche, für den Ansteu-

erzustand des aktuell angesteuerten Injektors repräsentative Größe (hier: Lade/Entladestrom  $I_p$ , alternativ z. B.: Piezospannung  $U_p$ ) in der Ansteuereinheit 2 mit einer entsprechenden Sollwertvorgabe (hier: von der Schaltungsanordnung 10 bereitgestelltes Steuersignal  $U_s$ ) verglichen wird und die Modulation der Signale up und down zum Angleichen der Istgröße (tatsächlich fließender Piezostrom) an die Sollgröße  $U_s$  eingestellt wird.

- 10 Zur Berücksichtigung von Motorbetriebsparametern bei diesem geregelten Betrieb der Kraftstoffinjektoren werden hierbei solche Parameter wie z. B. der Druck  $p$  in einem Kraftstoffdruckspeicher, die Temperatur  $T$  des Kraftstoffs im Bereich der Injektoren etc. als Sensorsignale der Ansteuereinheit 2
- 15 zugeführt und, gegebenenfalls unter Einbeziehung des Mikrocontrollers 3, ausgewertet.

Wenngleich bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen das Steuersignal  $U_s$  die Vorgabe für einen an ein Piezoelement auszugebenden Strom darstellt, so ist dies nicht einschränkend für die Erfindung. Vielmehr kann das gemäß der Erfindung erzeugte Steuersignal auch eine beliebige andere, für den Ansteuerzustand oder den Ansteuerungsverlauf eines Kraftstoffinjektors, insbesondere Ladungszustand oder Lade/Entladespannung eines piezoelektrischen Stellglieds repräsentative Größe darstellen.

## Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) zur Erzeugung eines  
Steuersignals (Us) für eine Motorsteuereinheit (ECU) zur  
5 Ansteuerung wenigstens eines Kraftstoffinjektors einer  
Brennkraftmaschine, wobei Betriebsparameter der Brenn-  
kraftmaschine (p, T, ...) und/oder des Kraftstoffinjek-  
tors für die Bildung eines der Schaltungsanordnung (10;  
110; 210) eingegebenen Modifikationssignals (S) zur be-  
10 triebmäßigen Variation des Steuersignalverlaufs (Us(t))  
herangezogen werden, umfassend:
- eine mit einem vorgegebenen Taktsignal (fc)  
beaufschlagbare Zähleinrichtung (12; 112; 212) zum  
15 Bereitstellen eines zeitabhängigen digitalen Zählsig-  
nals (X)
  - eine mit dem digitalen Zählsignal (X) beaufschlagbare  
Speichereinrichtung (14; 114; 214) zum Speichern ei-  
ner Folge (Y) von digitalen Steuersignalwerten (Y1,  
20 Y2 ...) und zum aufeinanderfolgenden Ausgeben einzel-  
ner Steuersignalwerte (Y1, Y2 ...) aus der Steuersig-  
nalwertfolge (Y) in Abhängigkeit von dem Zählsignal  
(X), und
  - 25 - eine Digital/Analogwandlereinrichtung (16; 116; 216)  
zum Wandeln der ausgegebenen digitalen Steuersignal-  
werte (Y1, Y2 ...) in das analoge Steuersignal (Us)  
für die Motorsteuereinheit (ECU).
  - 30
2. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach Anspruch 1, wobei  
zur Bereitstellung des Taktsignals (fc) mit eingestellter  
Frequenz ein mit dem Modifikationssignal (S) als Zeitska-

liersignal beaufschlagter spannungsgesteuerter Oszillator (224) verwendet wird.

3. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach Anspruch 1, wobei  
5 zur Bereitstellung des Taktsignals (fc) mit eingestellter Frequenz ein Oszillator mit fester Oszillationsfrequenz und ein dem Oszillator nachgeschalteter Teiler (18; 118) verwendet wird, dessen Teilungsverhältnis durch das dem Teiler eingegebene Modifikationssignal (S) als Zeitskali-  
10 lersignal bestimmt wird.
4. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach einem der voran-  
gehenden Ansprüche, wobei als die in der Speichereinrich-  
15 tung (14; 114; 214) gespeicherte Steuersignalwertfolge (Y) eine Folge von mindestens 30, insbesondere mindestens 50 Steuersignalwerten (Y1, Y2 ... YN) vorgesehen ist.
5. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach einem der voran-  
gehenden Ansprüche, wobei als die in der Speichereinrich-  
20 tung (14; 114; 214) gespeicherte Steuersignalwertfolge (Y) eine stetige Funktion annähert.
6. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach einem der voran-  
gehenden Ansprüche, wobei die digitalen Steuersignalwerte  
25 (Y1, Y2 ...) mit einer Auflösung von mindestens 8 bit vorgesehen sind.
7. Schaltungsanordnung (10; 110; 210) nach einem der voran-  
gehenden Ansprüche, wobei die Speichereinrichtung (14;  
30 114; 214) als ein Nur-Lese-Speicher ausgebildet ist.
8. Verfahren zur Erzeugung eines Steuersignals (Us) für eine Motorsteuereinheit (ECU) zur Ansteuerung wenigstens eines

Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine, wobei Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ( $p$ ,  $T$ , ...) und/oder des Kraftstoffinjektors für die Bildung eines Modifikationssignals ( $S$ ) zur betriebsmäßigen Variation des Steuersignalverlaufs ( $U_s(t)$ ) herangezogen werden, umfassend:

- 5  
10  
- Zählen eines vorgegebenen Taktsignals ( $f_c$ ), um ein zeitabhängiges digitales Zählsignal ( $X$ ) bereitzustellen, wobei das Taktsignal ( $f_c$ ) mit abhängig von dem Modifikationssignal ( $S$ ) einstellbarer Frequenz vorgegeben wird,
- 15  
- aufeinanderfolgendes Ausgeben einzelner digitaler Steuersignalwerte ( $Y_1$ ,  $Y_2$  ...) in Abhängigkeit von dem Zählsignal ( $X$ ) aus einer zuvor gespeicherten Folge ( $Y$ ) von Steuersignalwerten ( $Y_1$ ,  $Y_2$  ...  $Y_N$ ), und
- 20  
25  
- Wandeln der ausgegebenen digitalen Steuersignalwerte ( $Y_1$ ,  $Y_2$  ...) in das analoge Steuersignal ( $U_s$ ) für die Motorsteuereinheit (ECU), wobei die Wandlung der digitalen Steuersignalwerte ( $Y_1$ ,  $Y_2$  ...) in das analoge Steuersignal ( $U_s$ ) unter Berücksichtigung des Modifikationssignals ( $S$ ) als Amplitudenskaliersignal vorgesehen ist.

FIG 1

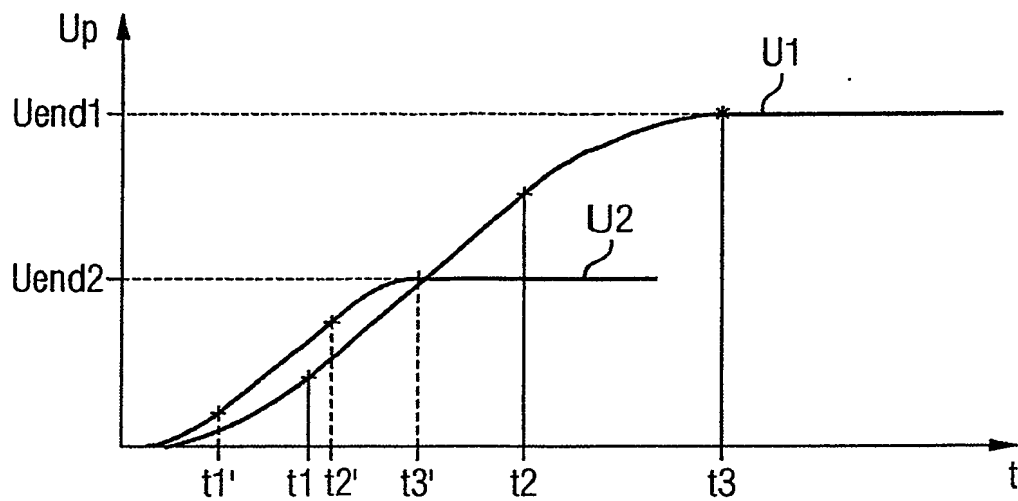


FIG 2

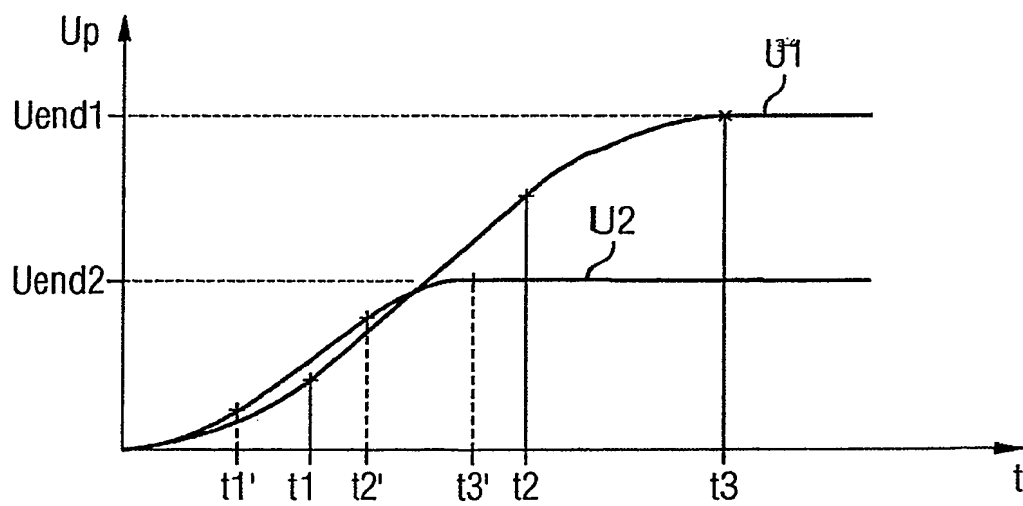


FIG 3

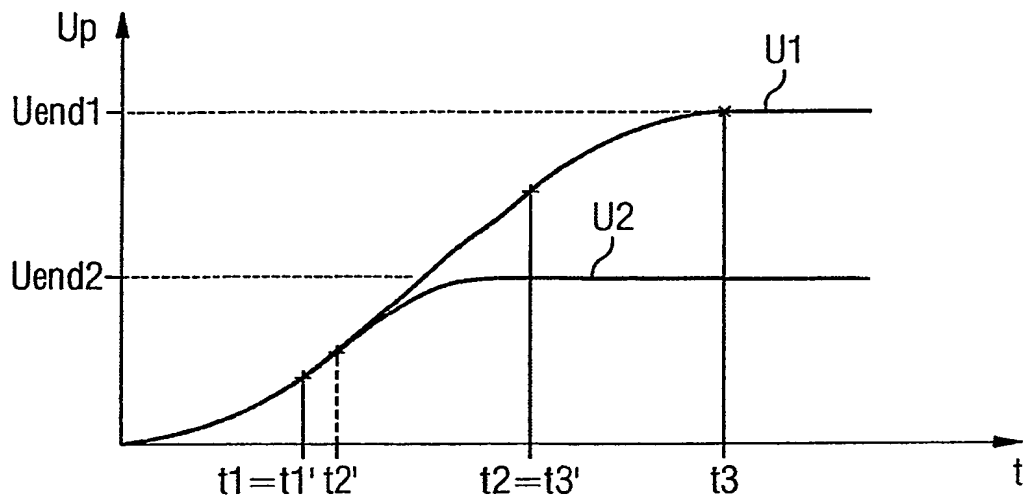


FIG 4

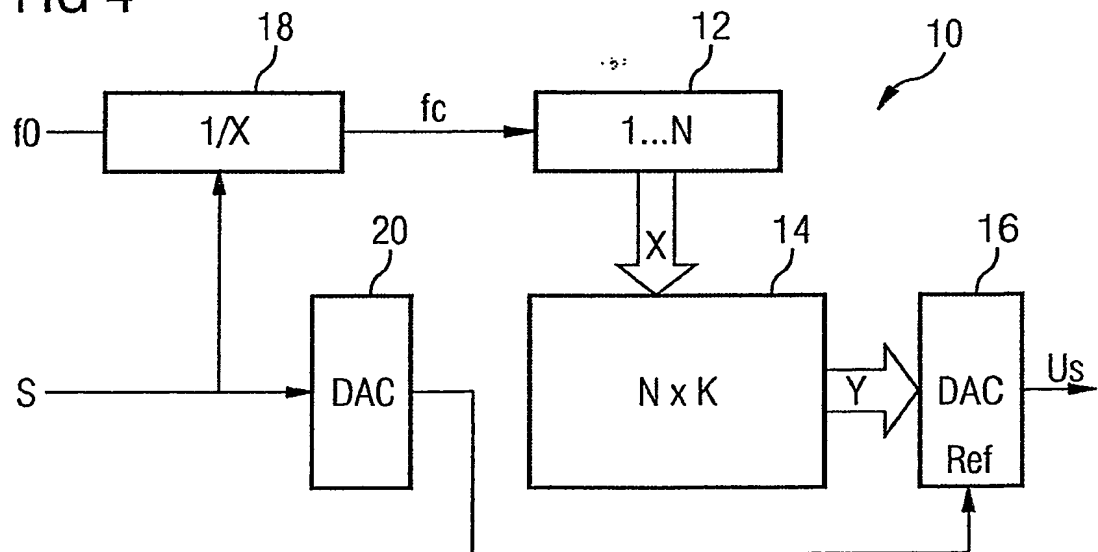


FIG 5

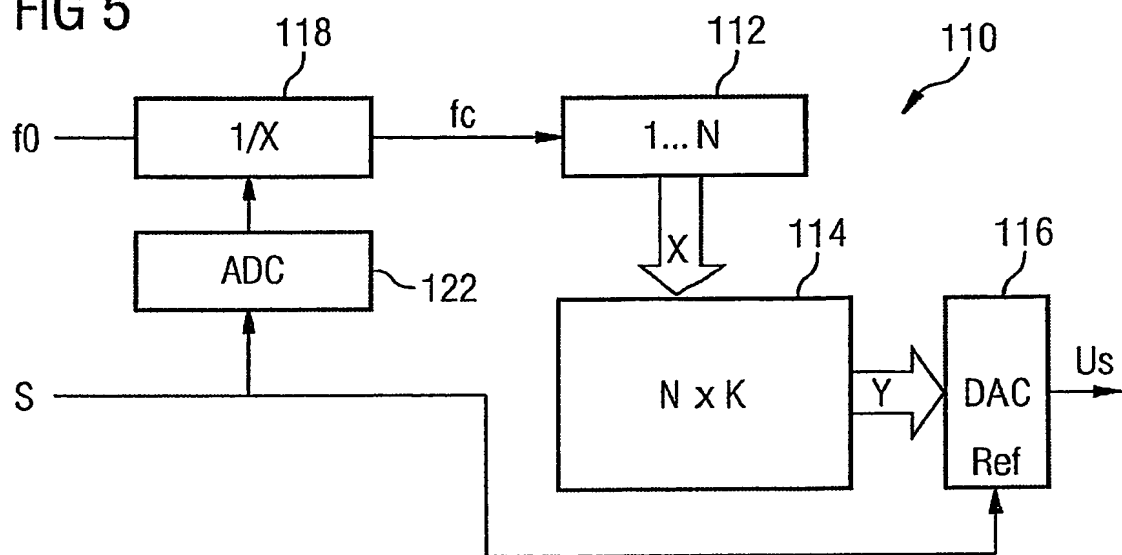


FIG 6

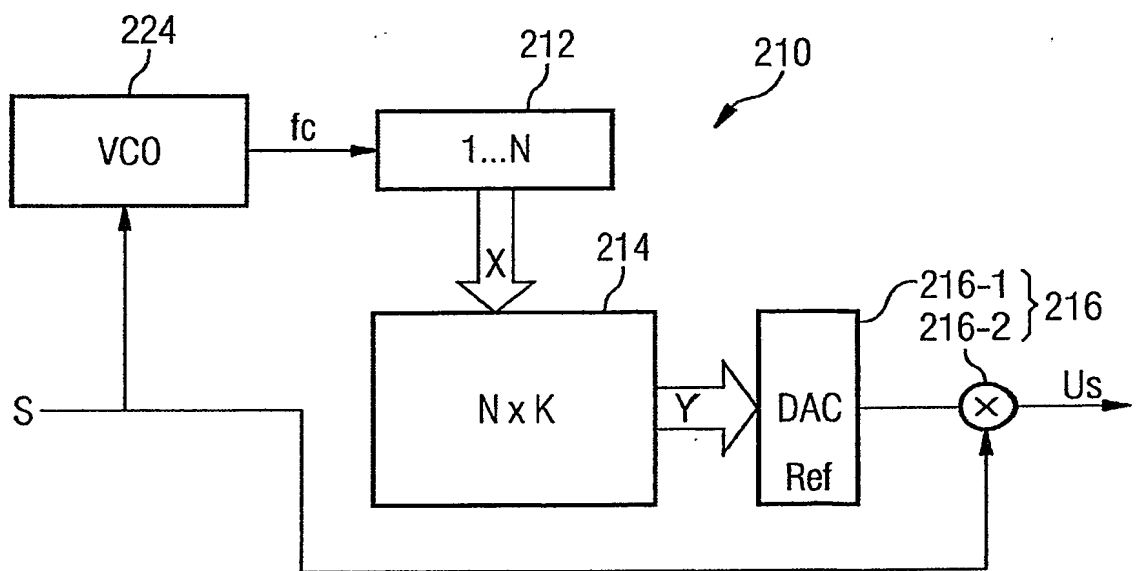
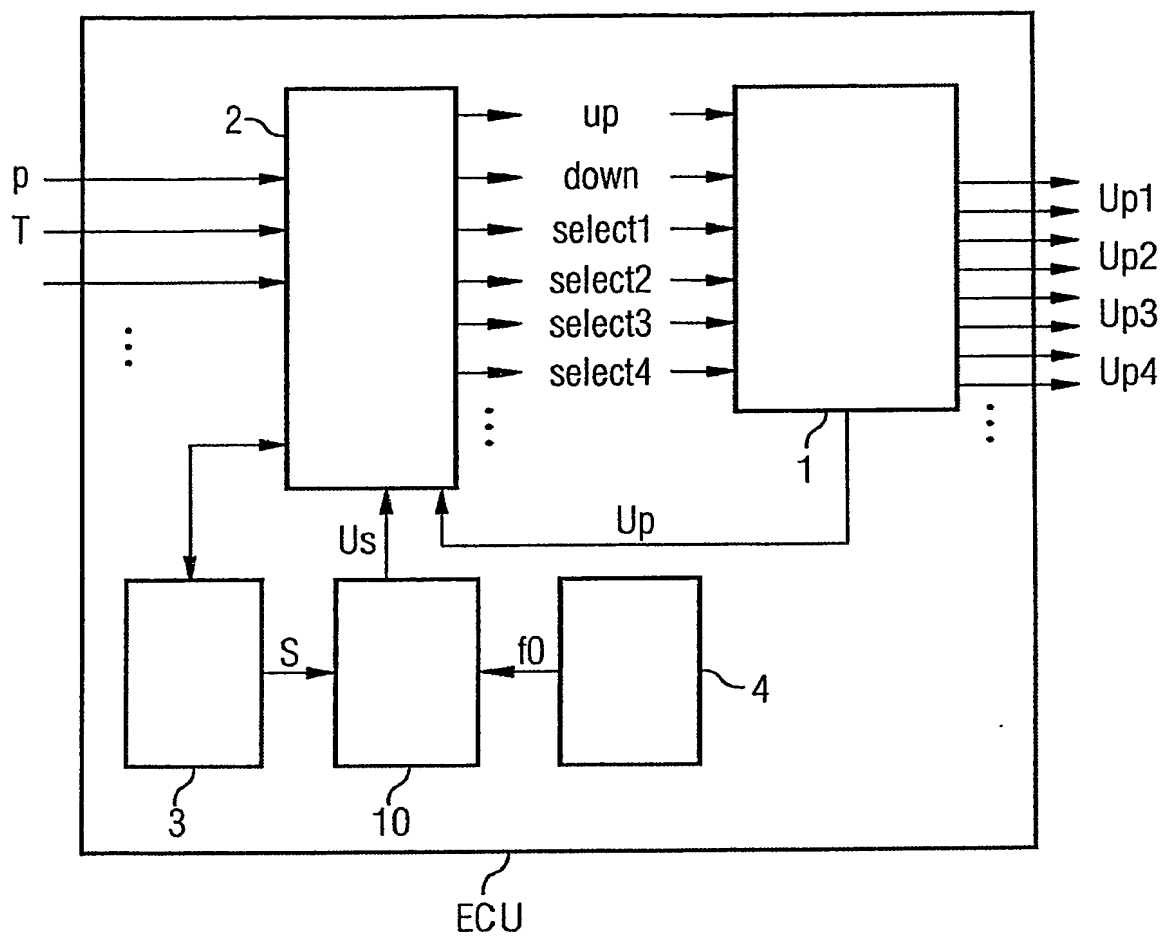




FIG 7



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050148

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F02D41/24 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 101 48 217 C1 (ROBERT BOSCH GMBH) 24 April 2003 (2003-04-24)	1
A	the whole document	2-8
X	EP 0 158 867 A (ATLAS FAHRZEUGTECHNIK GMBH) 23 October 1985 (1985-10-23)	1
A	the whole document	2-8
A	WO 03/091559 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; BEILHARZ, JOERG; PIRKL, RICHARD) 6 November 2003 (2003-11-06)	1-8
A	the whole document	
A	DE 24 57 461 A1 (ROBERT BOSCH GMBH; ROBERT BOSCH GMBH, 7000 STUTTGART, DE) 10 June 1976 (1976-06-10)	1-8
	the whole document	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 April 2005

Date of mailing of the international search report

29/04/2005

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libeaut, L

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050148

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
DE 10148217	C1	24-04-2003	JP	2003120384 A	23-04-2003
			US	2003062027 A1	03-04-2003
EP 0158867	A	23-10-1985	DE	3411402 A1	10-10-1985
			AT	38704 T	15-12-1988
			DE	3566290 D1	22-12-1988
			EP	0158867 A2	23-10-1985
WO 03091559	A	06-11-2003	WO	03091559 A1	06-11-2003
DE 2457461	A1	10-06-1976	FR	2293597 A1	02-07-1976
			GB	1515903 A	28-06-1978
			JP	51067831 A	11-06-1976
			US	4048965 A	20-09-1977

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050148

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 F02D41/24 F02D41/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 101 48 217 C1 (ROBERT BOSCH GMBH) 24. April 2003 (2003-04-24)	1
A	das ganze Dokument	2-8
X	EP 0 158 867 A (ATLAS FAHRZEUGTECHNIK GMBH) 23. Oktober 1985 (1985-10-23)	1
A	das ganze Dokument	2-8
A	WO 03/091559 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; BEILHARZ, JOERG; PIRKL, RICHARD) 6. November 2003 (2003-11-06)	1-8
A	DE 24 57 461 A1 (ROBERT BOSCH GMBH; ROBERT BOSCH GMBH, 7000 STUTTGART, DE) 10. Juni 1976 (1976-06-10)	1-8
	das ganze Dokument	

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. April 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/04/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Libeaut, L

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050148

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 10148217	C1	24-04-2003	JP	2003120384 A	23-04-2003
			US	2003062027 A1	03-04-2003
EP 0158867	A	23-10-1985	DE	3411402 A1	10-10-1985
			AT	38704 T	15-12-1988
			DE	3566290 D1	22-12-1988
			EP	0158867 A2	23-10-1985
WO 03091559	A	06-11-2003	WO	03091559 A1	06-11-2003
DE 2457461	A1	10-06-1976	FR	2293597 A1	02-07-1976
			GB	1515903 A	28-06-1978
			JP	51067831 A	11-06-1976
			US	4048965 A	20-09-1977

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Docket # 2003P17900

Applic. # \_\_\_\_\_

Applicant: Augesky

Lerner Greenberg Steiner LLP  
Post Office Box 2480

Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101